

전자패키징용 고열전도도-저열팽창계수 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정

Fabrication Process of High Thermal Conductivity and Low CTE SiCp/Al Metal Matrix Composites for Electronic Packaging Applications

*이효수, 홍순형
한국과학기술원 재료공학과

1. 서론

정보통신 및 우주항공 등의 기술 집약적 산업이 급속히 발전하면서 이와 관련된 전자부품 및 전자패키징 산업이 중요한 분야로 등장되었다. 최근에 전자패키징 기술이 발전하여 전자부품이 경박단소화되면서 소자로부터 발생하는 열의 밀도가 급속히 높아지는 추세이며 이로 인해 야기되는 문제점은 소자의 온도 상승으로 인해 일어나는 수명 단축과 신뢰성의 감소이다.¹⁻⁵ 따라서 기존의 전자부품에는 칩에서 발생하는 열을 배출하기 위하여 CPU(central processing unit) 및 PCB(printed circuit board)에 heat sink가 부착된다. 기존의 전자패키징용 부품 중에서 heat sink는 chill plate, mother board 및 microwave housing 등의 형태로 응용되며 이러한 heat sink용 소재로서 갖추어야할 조건은 높은 열전도도, 반도체와 유사한 수준의 열팽창계수 및 낮은 밀도 등으로 요약될 수 있다. 그러나, 기존에 사용되어왔던 세라믹계 소재의 경우 열전도도, 열팽창계수 그리고 밀도 등 물리적 특성이 비교적 좋으나 소재자체의 가격이 너무 비싸고 복잡한 형상으로의 가공성이 나쁘며 기계적 성질의 신뢰도가 낮은 단점이 있다. 반면에 금속계 소재의 경우 열전도도는 높으나, 열팽창계수가 높고 밀도가 크므로 전자패키징소재로서의 기능 및 경량화 요구에 적합치 않다. 따라서 이러한 요구특성에 맞추어 최근에 관심이 집중되고 있는 소재가 금속복합재료(metal matrix composites)이다. 금속복합재료는 금속계 소재를 기지로 하고 세라믹계 강화재를 분산시킨 소재로서 열전도도, 전기전도도 및 가공성이 우수한 금속의 장점과 탄성계수, 강도 및 내열성이 우수하여 열팽창계수가 낮은 세라믹의 장점을 극대화시킬 수 있는 신소재이다. 본 연구에서는 차세대 전자 패키징용 소재로 응용이 가능한 고열전도도-저열팽창계수 금속복합재료를 제조하기 위하여 ball milling and pressing법으로 예비성형체를 제조하였고 squeeze casting으로 고부피분율 강화재의 SiCp/Al 금속복합재료를 제조하여 열적 특성평가를 수행하였다.

2. 실험방법

Squeeze casting으로 SiCp/Al금속복합재료를 제조하기 위해서는 고가압력에 견딜 수 있는 예비성형체를 제조하여야 한다. 고부피분율의 예비성형체를 제조하기 위해 70vol%이하의 SiCp/Al 금속복합재료는 48 μ m의 α -type SiC 분말을 사용하였고 71vol%의 SiCp/Al 금속복합재료는 평균직경 8 μ m과 48 μ m의 α -type SiC분말 (showadenko company)을 1:2의 혼합비로 혼합하였다. 혼합된 SiC 분말은 0~3%의 무기바인더(SiO₂) 및 0~1%의 유기바인더(cationic starch)와 응집제를 첨가하여 균일하게 혼합하여 slurry를 만들고 ball milling하여 충분한 혼합물이 이루어지도록 하였다. 이러한 slurry상태의 혼합물을 cold press하여 SiC 분말 성형체를 제조하였으며 두 단계의 natural drying과 forced drying의 공정으로 충분히 건조시킨 후 1100 $^{\circ}$ C에서 소성과정을 거쳐 cylinder모양의 SiC 분말 예비성형체를 제조하였다. SiC 분말 예비성형체의 미세조직은 SEM를 이용하여 표면관찰을 수행하였고 XRD 분석을 통하여 바인더분포를 관찰하였다. Squeeze casting공정을 통한 SiCp/Al 금속복합재료를 제조하기 위하여 예비성형체는 750 $^{\circ}$ C, 금형온도는 300 $^{\circ}$ C에 유지하였다. Squeeze casting제조공정에 따른 SiCp/Al 금속복합재료의 특성변화를 분석하기 위해 예비성형체 제조조건, 용탕온도와 가압력을 변화시키며 금속복합재료를 제조한 후 열전도도와 열팽창계수를 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

고부피분율 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정

Fig. 1은 본 연구에서 수행된 SiC 분말 예비성형체 제조공정과 squeeze casting공정을 나타낸 것이다. 본 연구에서 제조한 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정은 SiC 분말 예비성형체의 제조공정과 squeeze casting을 이용한 Al기지상의 금속복합재료의 제조공정으로 수행하였으며 예비성형체 제조조건, 용탕온도와 squeeze casting 가압력의 제조공정변수에 따라 SiCp/Al 금속복합재료를 제조하여 전자패키징용 소재의 요구특성에 적합한 SiCp/Al 금속복합재료의 제조공정조건을 확립할 수 있었다. 이러한 제조공정을 바탕으로 고부피분율(70vol%이상)의 예비성형체를 제조할 수 있었고 고부피분율의 예비성형체에 Al기지상을 균일하게 함침시키기 위한 squeeze casting공정조건을 확립할 수 있었다.

SiC 분말 예비성형체 및 고부피분율 SiCp/Al 금속복합재료의 미세조직

Fig. 2(a), 2(b) 및 2(c)는 각각 SiC 분말 예비성형체와 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 미세조직 관찰사진이다. SiC 분말 예비성형체의 국부적인 무기바인더의 뭉침은 SiCp/Al 금속복합재료를 제조할 때 Al기지상의 함침을 방해하므로 SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도 감소를 유발한다. Fig. 2(a)에서 보는 바와 같이 첨가된 무기바인더는 SiC 입자사이에 응집되어 SiC 분말 예비성형체의 강도를 증가시키므로써 squeeze casting 가압력에 의한 SiC 분말 예비성형체의 미소균열을 방지하지만 금속기지상의 균일한 함침을 억제하여 SiC 입자 계면에서 기공을 유발시킨다. 따라서 SiCp/Al 금속복합재료내의 기공은 열특성을 감소시키므로 무기바인더의 첨가를 최소화하여야 한다. 본 연구에서는 Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 무기바인더를 첨가하지 않은 SiC 분말 예비성형체를 제조하였으며 SiC 분말 예비성형체의 표면부의 미세조직을 관찰하였다. Fig. 2(a)와 달리 SiC 입자사이에 무기바인더가 잔류되지 않았음을 알 수 있으며, 또한 불균일한 Al함침과 불균일한 강화재 분포를 발생시킬 수 있는 국부적인 바인더 뭉침현상이 발생하지 않으므로 Al 기지상이 원활하게 함침되고 금속복합재료내에 SiC 분말이 균일하게 분포되어질 것으로 기대되었다. Fig. 2(c)는 Al기지상을 함침시킨 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 미세조직이다. 본 연구에서는 입자크기가 다른 8 μ m과 48 μ m의 두 입자를 1:2의 혼합비로 예비성형체를 제조하여 강화재 부피분율 70vol%이상의 SiCp/Al 금속복합재료를 제조하였으며 squeeze casting 공정 중에 발생할 수 있는 강화재의 국부적인 뭉침현상이 없이 Al기지에 8 μ m, 48 μ m SiC 분말 강화재가 균일하게 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

SiCp/Al 금속복합재료의 열적특성분석

SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도와 열팽창계수에 영향을 미치는 영향을 분석하기 위하여 강화재 부피분율의 효과, 첨가물의 효과 및 기공의 효과를 분석하였다. 또한 SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도 및 열팽창계수특성을 예측하기 위한 이론식은 Maxwell' model과 Turner's model를 각각 이용하여 이론값과 실험값을 비교분석하였다. Table 1에는 SiCp/Al 금속복합재료의 열특성에 영향을 미치는 SiC강화재, 무기바인더 및 기공 성분들에 대한 열특성을 나타내었다. 본 연구에서 제조한 SiCp/Al 금속복합재료의 제조조건에 따른 열전도도와 열팽창계수는 각각 118~170W/mK 및 6.4~9.5 $\times 10^{-6}$ /K의 범위를 나타내어 기존의 전자패키징용 소재에 비하여 우수한 열특성을 나타내었다.

a) SiCp/Al 금속복합재료의 열특성에 미치는 강화재 부피분율의 영향

Fig. 3(a)와 3(b)는 기지상을 pure Al을 사용한 SiCp/Al 금속복합재료의 열특성을 나타낸 것으로 SiC분말의 부피분율의 증가에 따른 열전도도와 열팽창계수이다. 열전도도 121W/mK, 열팽창계수 4.5 $\times 10^{-6}$ /K인 SiC분말의 부피분율이 50~71vol%으로 증가함에 따라 열전도도는 118~170W/mK으로 감소하였고 열팽창계수는 6.4~9.5 $\times 10^{-6}$ /K으로 감소하였다. 또한 기지상을 6061Al을 사용한 SiCp/Al 금속복합재료에 비하여 향상된 열전도도 및 열팽창계수를 나타내었다. SiC 분말의 열전도도는 121W/mK이고 열팽창계수는 4.5 $\times 10^{-6}$ /K이며 Al 기지상의 열전도도는 237W/mK이고 열팽창계수는 23.6 $\times 10^{-6}$ /K으로 강화재의 부피분율이 증가할수록 열전도

도 및 열팽창계수가 감소되어 강화재의 부피분율이 70vol%이상일 때 전자패키징용 소재로서 요구특성에 적합한 열적 특성을 지닌다.

b) SiCp/Al 금속복합재료의 열특성에 미치는 무기바인더 및 유기바인더의 영향

SiCp/Al 금속복합재료 제조공정에서 무기바인더의 역할은 예비성형체의 강도를 증가시켜 squeeze casting pressure에 의하여 예비성형체의 파단이 발생하지 않게 하고 유기바인더는 SiC분말 표면에 전위차를 유발시킴으로써 무기바인더가 SiC 분말사이에 응집되도록 유도하는 역할을 한다. 그러나 무기바인더 자체의 낮은 열전도도와 SiC 입자사이의 기공을 유발시키기 때문에 SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도를 감소시키므로 그 첨가량을 최소화해야 한다. Fig. 4(a)와 4(b)는 SiC분말 예비성형체에 첨가되는 무기바인더 및 유기바인더의 첨가량에 따른 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도 및 열팽창계수를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 무기바인더의 양이 0~3%으로 증가할수록 열전도도는 118~156W/mK으로 감소하였고 유기바인더의 영향은 거의 없었다. 반면에 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 열팽창계수는 무기바인더 및 유기바인더의 첨가에 관계없이 비교적 일정한 $6\sim 7\times 10^{-6}/K$ 를 나타내었다.

c) SiCp/Al 금속복합재료의 열특성에 미치는 기공의 영향

Fig. 5(a)와 5(b)는 porosity에 따른 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도 및 열팽창계수를 나타낸 것이다. Pore의 열전도도는 0.026W/mK으로 금속복합재료내에 분포되어 있을 경우 열전도도의 감소를 유발한다. 특히 70vol%이상의 고부피분율 금속복합재료는 두가지 이상의 SiC 분말을 혼합하여 제조하였으므로 기공의 발생이 있을 것으로 예상되었다. Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 기공도가 증가할수록 열전도도는 급격히 감소하였으며 특히 porosity가 1~3%으로 증가됨에 따라서 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도는 143~115W/mK으로 약 20% 감소됨을 알 수 있다. 반면에 porosity 증가에 따른 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 열팽창계수는 기공발생에 관계없이 일정한 $6\sim 7\times 10^{-6}/K$ 를 나타내었다.

4. 결론

- 1) 본 연구를 통하여 확립된 고부피분율의 예비성형체의 제조공정 및 squeeze casting공정에 의해서 고부피분율(50~71vol%)SiCp/Al 금속복합재료를 제조하였으며 열특성평가를 수행하여 기존의 전자패키징용 재료에 비해 낮은밀도 및 고열전도도-저열팽창율을 나타내는 전자패키징용 금속복합재료의 제조공정을 확립하였다.
- 2) SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도는 SiC 분말 강화재의 부피분율이 50~71vol%으로 증가할수록 118~170W/mK으로 감소하였으며 무기바인더의 첨가가 0~1%으로 증가될수록 118~156W/mK으로 감소하였고 기공은 1~3%으로 증가할수록 143~115W/mK으로 감소하였다. 이는 강화재의 부피분율 및 무기바인더의 증가에 따른 SiC 입자사이에 기공의 발생증가 및 각 첨가물들의 낮은 열전도도에 기인한다.
- 3) SiCp/Al 금속복합재료의 열팽창계수는 무기바인더 및 기공의 영향없이 비교적 일정한 $6\sim 7\times 10^{-6}/K$ 의 범위의 열팽창계수를 나타내었으며 단지 강화재 부피분율이 50~71vol%으로 증가할수록 감소할수록 $9.5\sim 6.5\times 10^{-6}/K$ 으로 감소하였다. 이는 $4.5\times 10^{-6}/K$ 의 저열팽창계수를 나타내는 SiC분말의 양이 증가되어 Al 기지상의 온도증가에 따른 부피증가를 억제하므로 SiCp/Al 금속복합재료의 열팽창계수가 감소되었다.
- 4) Squeeze casting공정에 따라 제조한 71vol%SiCp/Al 금속복합재료의 열전도도 및 열팽창계수 분석결과 열전도도는 115~156W/mK의 범위를 나타내었고 열팽창계수는 $6\sim 7\times 10^{-6}/K$ 를 나타내어 기존의 전자패키징용 소재보다 우수한 열적 특성을 나타내었다.

5. 참고문헌

- 1) J. I. Song, Y. C. Yang and K. S. Han, J. Mater. Sci., 31 (1996)2615.
- 2) T. Iseki, T. Kameda and T. Maruyama., J. Mater. Sci., 19 (1984)1692.
- 3) H. Fukunaga and X. Wang., J. Mater. Sci. Lett., 9 (1990)23.
- 4) G. M. Janowski and B. J. Pletka, Mater. Sci. Eng., A129 (1990)65.
- 5) D. K. Balch, T. J. Fitzgerald and S. Suresh, Metall. Mater. Trans. A, 27A (1996)3700.

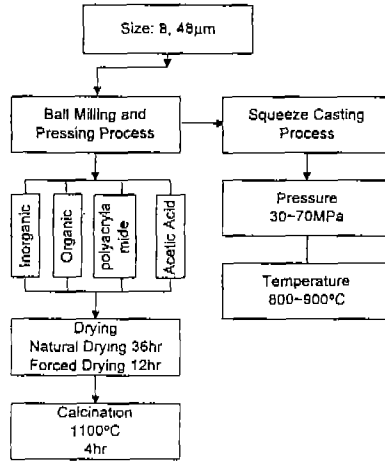


Fig. 1. Fabrication process of high volume fraction SiCp/Al metal matrix composites by squeeze casting process

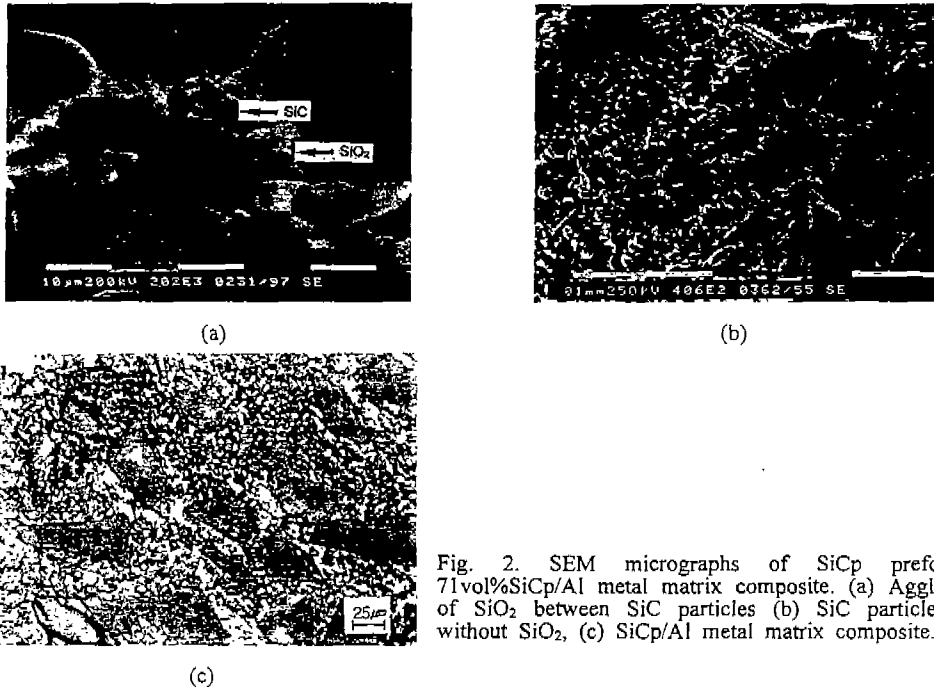
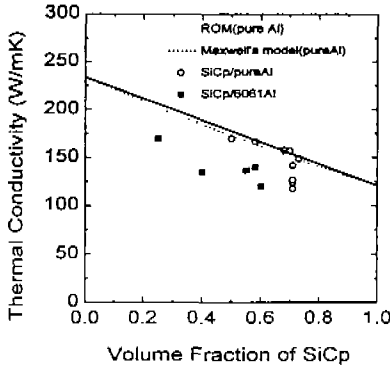


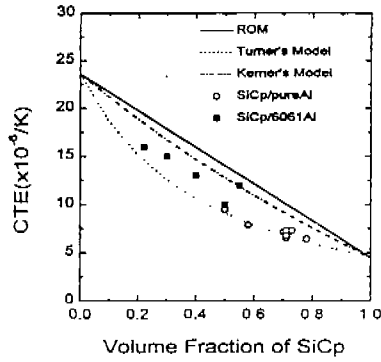
Fig. 2. SEM micrographs of SiCp preform and 71vol%SiCp/Al metal matrix composite. (a) Agglomeration of SiO₂ between SiC particles (b) SiC particle preform without SiO₂, (c) SiCp/Al metal matrix composite.

Table 1. Thermal Properties of the elements included in SiCp/Al MMC

	Pure	SiC	SiO ₂		Pore
	Al	(α -type)	amorphous	crystalline	
Thermal					
Conductivity(W/mK)	237	121	1.375	1.05	0.026
CTE(ppm/K)	23.6	4.5	0.535	18.5	-
Density(g/cm ³)	2.705	3.217	2.2	2.21	-
Specific Heat(J/kg · K)	900	690	-	-	-

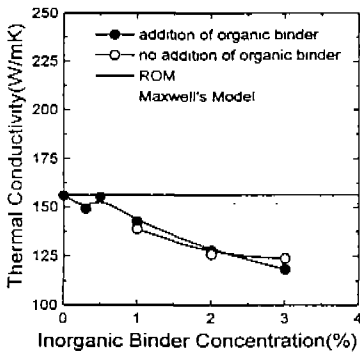


(a)

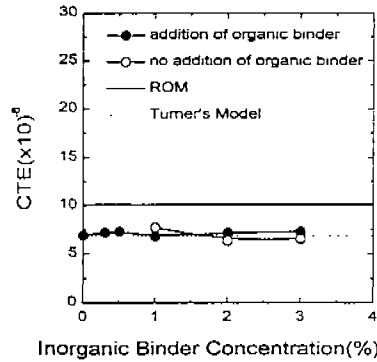


(b)

Fig. 3. Thermal conductivity and CTE of SiCp/Al metal matrix composites with varying volume fractions of SiCp. (a) Thermal conductivity, (b) CTE.

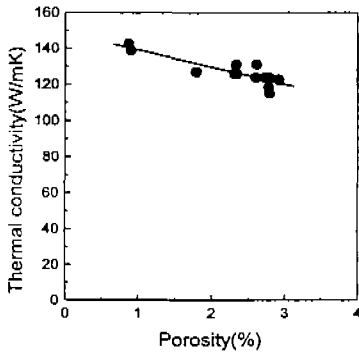


(a)

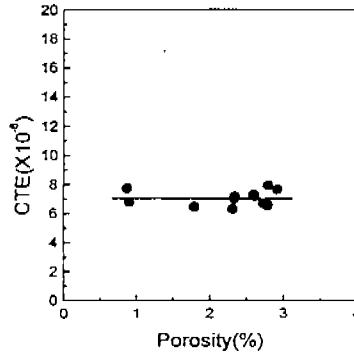


(b)

Fig. 4. Thermal conductivity and CTE of 71vol%SiCp/Al metal matrix composites with varying inorganic binder and organic binder. (a) Thermal conductivity, (b) CTE.



(a)



(b)

Fig. 5. Thermal conductivity and CTE of 71vol%SiCp/Al metal matrix composites with porosity. (a) Thermal conductivity, (b) CTE.